

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-83627

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月26日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 J 3/28

G 0 1 J 3/28

A 0 1 G 7/00

6 0 2

A 0 1 G 7/00

6 0 2 Z

G 0 1 S 5/14

G 0 1 S 5/14

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平9-254331

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月2日

(71) 出願人 000002945

オムロン株式会社

京都府京都市右京区花園土堂町10番地

(72) 発明者 平子 進一

京都府京都市右京区山ノ内山ノ下町24番地

株式会社オムロンライフサイエンス研究

所内

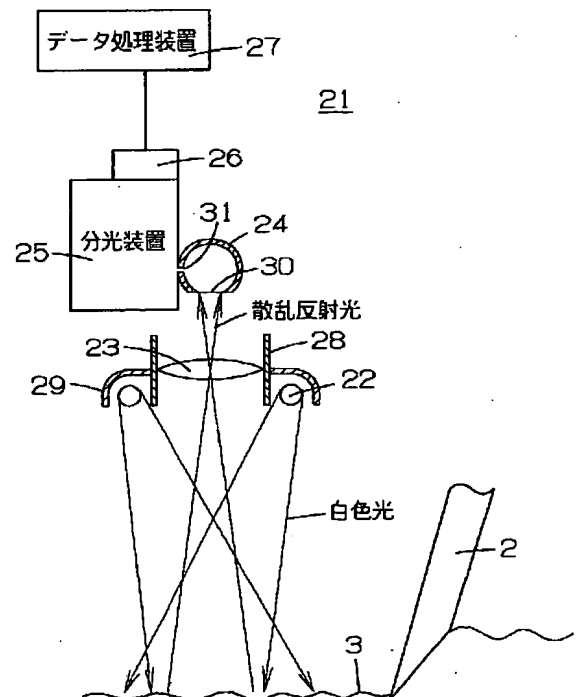
(74) 代理人 弁理士 中野 雅房

(54) 【発明の名称】 土壌の光学特性測定装置

(57) 【要約】

【課題】 土壌の形状や土壌面の凹凸等に影響されず、土壌の光学的特性を精度よく測定できるようにする。土壌面との距離を大きくして、測定精度を向上させる。

【解決手段】 光源22から出射された白色光を土壌面3に照射する。土壌面3で散乱反射された白色光を集光レンズ23で集光して光積分球24内部に集光させる。このとき土壌面3の像を光積分球24の受光窓30に結像させて縮小投影するようにしてある。光積分球24内の光は分光装置25に導かれて分光され、分光された光は光検出器26により受光される。データ処理装置25は光検出器26の受光信号に基づいて光スペクトルを求め、反射散乱光の光スペクトルに基づいて土壌成分を判別する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 土壤面に向けて、波長帯域の広い測定光を照射する光源と、  
土壤面で散乱反射された測定光を捕捉して閉じ込める光捕捉部と、  
土壤面で散乱反射された測定光を集光して、前記光捕捉部内へ導く集光手段と、  
前記光捕捉部内の光を分光する手段と、  
前記分光手段によって分光された光を受光する光検出器と、  
前記光検出器の測定データに基づいて土壤の光学特性を分析する手段と、を備えた土壤の光学特性測定装置。

【請求項 2】 土壤面に向けて、複数波長からなる測定光を照射する光源と、  
土壤面で散乱反射された測定光を捕捉して閉じ込める光捕捉部と、  
土壤面で散乱反射された測定光を集光して、前記光捕捉部内へ導く集光手段と、  
前記光捕捉部内の光を異なる波長毎に分離する手段と、  
前記分離手段によって分離された光を受光する光検出器と、  
前記光検出器の測定データに基づいて土壤の光学特性を分析する手段と、を備えた土壤の光学特性測定装置。

【請求項 3】 前記光捕捉部は、高反射率の内面を有する略球状の空洞であることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の土壤の光学特性測定装置。

【請求項 4】 前記光捕捉部は、光入射側端部の面積が比較的大きく、光出射側端部の面積が比較的小さな光導波路によって形成されていることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の土壤の光学特性測定装置。

【請求項 5】 土壤面との対向部分と土壤面の間を遮光部材で覆ったことを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の土壤の光学特性測定装置。

【請求項 6】 前記光源から投光方向に参照板を配置したり、投光方向から外れた位置へ取り除いたりできるようにした、請求項 1 又は 2 に記載の土壤の光学特性測定装置。

【請求項 7】 測定位置を特定するための測定位置計測装置を備えた、請求項 1 又は 2 に記載の土壤の光学特性測定装置。

【請求項 8】 前記測定位置計測装置から出力された位置情報と、前記光学特性分析手段により得られた測定データとから、土壤の特性マップを作成する手段を備えた、請求項 7 に記載の土壤の光学特性測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は土壤の光学特性測定装置に関する。特に、土壤の光学特性を測定し、土壤の成分を分析するための光学特性測定装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】農産物の収量を増加させるためには、土壤中の有機成分や肥料等の不足分を補給し、耕作地全体の土壤の均質化を図る必要がある。そのためには、土壤の成分を分析する必要があり、特にリアルタイムに成分分析することが望まれる。

【0003】そのための土壤成分分析装置としては、図 1 に示すようなものが知られている (Soil Organic Matter, CEC, and Moisture Sensing with a Portable NIR Spectrophotometer; K. A. Sudduth, J. W. Hummel: Transactions of the ASAE, 1993 Vol. 36, 1571-1582)。この土壤成分分析装置 1 は、トラクタ後部の鋤 2 の直後に取り付けられており、トラクタで土壤成分分析装置 1 を牽引して圃場を移動し、鋤 2 で露出させられた新しい土壤面 3 を土壤成分分析装置 1 で分析し、土壤中の有機物量や水分等を測定するものである。

【0004】この土壤成分分析装置 1 においては、光源 4 から放射された白色光は、集光レンズ 5 によりバンドル光ファイバ 6 の一方端面に集光される。このとき、集光レンズ 5 で集光された白色光は、スリット板 7 及び波長選択フィルタ 8 を通過してバンドル光ファイバ 6 の端面に入射する。波長選択フィルタ 8 は、図 2 に示すような円板状をしたフィルタディスク 9 の扇形開口 10 に設けられており、フィルタディスク 9 の円周方向に沿って選択波長（透過波長）が連続的に変化するように配設されている。フィルタディスク 9 は回転モータ 11 によって回転駆動される。スリット板 7 の開口 12 はフィルタディスク 9 の半径方向に沿って細長く位置している。で、フィルタディスク 9 が回転していると、スリット板 7 及び波長選択フィルタ 8 を通過してバンドル光ファイバ 6 の端面に入射する単色の測定光の波長は連続的に変化する。波長選択フィルタ 8 による選択波長は、400 ~ 2500 nm の範囲の紫外光から近赤外光を用いることが多い。回転モータ 11 によるフィルタディスク 9 の回転は、モータ制御部 13 によって制御されており、モータ制御信号はモータ制御部 13 からデータ処理装置 14 へも送出されているので、データ処理装置 14 ではバンドル光ファイバ 6 の端面に入射されている測定光（単色光）の波長を認識している。バンドル光ファイバ 6 の他端は投受光箱 15 へ導かれており、バンドル光ファイバ 6 の一方端面から入射した測定光は、バンドル光ファイバ 6 内部を伝搬して他方端面から出射し、投受光箱 15 の底面に設けられた石英窓 16 を透過し、鋤 2 によって露出させられた耕作地等の新しい土壤面 3 へ照射される。

【0005】こうして土壤面 3 に照射された単色の測定光は土壤面 3 で散乱反射され、散乱反射光は石英窓 16 を通って再び投受光箱 15 内へ戻る。投受光箱 15 内へ戻った散乱反射光の一部は、投受光箱 15 内部のバンドル光ファイバ 6 近傍に設けられた光検出器 17 で受光される。光検出器 17 は、受光した散乱反射光の強度に応

じた受光信号をデータ処理装置14へ送信する。

【0006】について、データ処理装置14は、図3に示すように、モータ制御部13から受け取ったモータ制御信号を測定光の波長データに変換し(S1)、この波長データと光検出器17における受光信号とから当該土壌の散乱反射光の光スペクトルを作成し(S2)、この散乱反射光の光スペクトル強度に関するデータを、予め作成してある所定の回帰式に代入する(S3)ことによって当該土壌の成分を分析し、分析結果を表示部(図示せず)に表示する(S4)。なお、回帰式は、多変量解析として知られる手続により作成する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来の土壌成分分析装置は、上記のように鋤で露出させた新しい土壌面にバンドル光ファイバから連続的に変化する測定光(単色光)を照射し、土壌面で散乱反射した光をバンドル光ファイバの近傍に配置した光検出器で受光し、その受光強度から散乱反射光の光スペクトルを得ている。

【0008】しかしながら、土壌は一般に粒子の大きさや構造、土質が不均一で、さらには小さな石や異物などが混入していることが多い。土壌にこのような不均一が存在していると、土壌に測定光を照射しても、その散乱反射光は全方位に均等に反射されず、特定の方向に強くあるいは弱く、偏って反射されることになり、光照射の方向や光検出器の位置によって光学特性が異なり、正確に土壌成分を分析できない。

【0009】また、土壌成分分析装置を圃場で移動させて連続的に土壌の光学特性を測定する場合には、土壌面と光検出器の距離が土壌成分分析装置の移動によって変動するので、土壌に照射される照射面積が変動し、また土壌から光検出器に入射する散乱反射光の強度が変動するため、土壌の光学特性の測定精度が低下し、正確に土壌成分を知ることができなかった。

【0010】従来の土壌成分分析装置では、土壌面と光検出器の距離が短い(例えば、15mm程度)ので、このような原因による測定精度の低下やばらつきが著しかった。土壌面と光検出器の距離の変動による測定精度の低下などを低減するためには、土壌面と光検出器等との距離を長くすればよいが、従来の土壌成分分析装置では、土壌面と光検出器との距離を長くすると、光検出器に入射する散乱反射光の強度が急激に低減するので、かえって測定精度が低下したり、測定不能になっていた。

【0011】本発明は前述の従来例の欠点を鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、土壌の形状や構造、土質等あるいは土壌面の凹凸のばらつき等によらず、土壌の光学的特性を精度よく測定することができ、また土壌面と光検出器との光学的距離を長くして測定精度を向上させることができる土壌の光学特性測定装置を提供することにある。

【0012】

【発明の開示】請求項1に記載の土壌の光学特性測定装置は、土壌面に向けて、波長帯域の広い測定光を照射する光源と、土壌面で散乱反射された測定光を捕捉して閉じ込める光捕捉部と、土壌面で散乱反射された測定光を集光して、前記光捕捉部内へ導く集光手段と、前記光捕捉部内の光を分光する手段と、前記分光手段によって分光された光を受光する光検出器と、前記光検出器の測定データに基づいて土壌の光学特性を分析する手段とを備えたことを特徴としている。

【0013】この土壌の光学特性測定装置にあつては、光源から土壌面に向けて測定光を照射し、土壌面で散乱反射された測定光を集光手段で光捕捉部内に集めて捕捉する。光捕捉部内に閉じ込められた散乱反射光は、光捕捉部内で何度か反射された後、分光手段に入射する。分光手段で分光された光は光検出器で受光される。分析手段は、光検出器の測定データ(受光量)に基づいて土壌の光学特性を分析する。

【0014】従って、本発明によれば、土壌面で散乱反射された測定光を光検出器で直接受光するのでなく、土壌面で散乱反射され大きな立体角で放射された広い範囲の散乱反射光を光捕捉部内に捕捉することによって平均化して光検出器で検出することができるので、土壌の形状や構造、土質、粒子の大きさ等によらず土壌本来の光学的特性を測定することができ、測定データの信頼性を向上させることができる。

【0015】また、土壌面で散乱反射された測定光を集光手段により集光させて光捕捉部内へ導いているので、土壌面と光捕捉部との距離が長い場合でも、土壌面の広い面積にわたって散乱反射した測定光を集めて光捕捉部内へ導くことができ、光検出器における受光強度を高くすることができる。さらに、土壌面には波長帯域の広い光、例えば白色光を照射しているので、土壌面の照射強度を大きくでき、一層土壌面と光検出器との距離を長くできる。

【0016】従って、土壌面と光捕捉部ひいては光検出器との距離を長くすることができるので、測定地域での移動によって土壌面と光検出器との距離が変動しても土壌の光学的特性に及ぼす影響が少なくなり、測定精度が向上し、測定ばらつきが低減される。

【0017】請求項2に記載の土壌の光学特性測定装置は、土壌面に向けて、複数波長からなる測定光を照射する光源と、土壌面で散乱反射された測定光を捕捉して閉じ込める光捕捉部と、土壌面で散乱反射された測定光を集光して、前記光捕捉部内へ導く集光手段と、前記光捕捉部内の光を異なる波長毎に分離する手段と、前記分離手段によって分離された光を受光する光検出器と、前記光検出器の測定データに基づいて土壌の光学特性を分析する手段とを備えたことを特徴としている。

【0018】この土壌の光学特性測定装置は、請求項1の光学特性測定装置とは、光源が離散的な複数波長の測

定光を照射する点で異なっているが、このような光学特性測定装置にあっても、請求項 1 の光学特性測定装置と同様な作用効果を奏する。すなわち、土壌の形状や構造、土質、粒子の大きさ等によらず土壌本来の光学的特性を測定することができ、測定データの信頼性を向上させることができる。また、土壌面と光検出器との距離を長くできるので、測定地域での移動によって土壌面と光検出器との距離が変動しても土壌の光学的特性に及ぼす影響が少なくなり、測定精度が向上し、測定ばらつきが低減される。

【0019】上記光捕捉部としては、請求項 3 に記載のように、高反射率の内面を有する略球状の空洞を用いることができる。このような光捕捉部にあつては、開口から光捕捉部内に入った散乱反射光は土壌面における反射方向によらず、光捕捉部の内面で反射を繰り返して分光手段に入るので、光受光器では各方向へ反射された光の強度を平均化したものを検出することができる。

【0020】また、光捕捉部としては、請求項 4 に記載のように、光入射側端部の面積が比較的大きく、光出射側端部の面積が比較的小さな光導波路を用いることもできる。このような光捕捉部にあつては、光入射側端部から光捕捉部内に入った散乱反射光は土壌面における反射方向によらず、光導波路内で反射を繰り返して光出射側端部に集中して分光手段に入るので、光受光器では各方向へ反射された光の強度を平均化したものを検出することができる。

【0021】請求項 5 に記載の実施態様は、請求項 1 又は 2 に記載の土壌の光学特性測定装置において、土壌面との対向部分と土壌面の間を遮光部材で覆ったことを特徴としている。

【0022】この実施態様のように、土壌面との間を遮光部材で覆うようにすれば、外乱光の影響を排除することができ、測定感度や信頼性をより向上させることができる。

【0023】請求項 6 に記載の実施態様は、請求項 1 又は 2 に記載の土壌の光学特性測定装置において、前記光源から投光方向に参照板を配置したり、投光方向から外れた位置へ取り除いたりできるようにしたことを特徴としている。

【0024】この実施態様によれば、光源の投光方向に参照板を配置し、参照板に測定光を照射して参照板の光学特性をモニターすることによって、光学系の不安定性（例えば、光検出器の感度変化や光源の光源強度の揺らぎ等）による光学特性の変動を補正することができる。なお、参照板を光源の投光方向から外れた位置へ移動させることにより、土壌面を測定できる。

【0025】請求項 7 に記載の実施態様は、請求項 1 又は 2 に記載の土壌の光学特性測定装置において、測定位置を特定するための測定位置計測装置を備えたことを特徴としている。

【0026】この実施態様によれば、測定位置計測装置により測定位置を特定することができるので、測定データと測定位置とを関連付けることができる。従って、土壌成分などの測定データを測定地域全体で総合的に分析することができる。また、後日、測定データに基づいて土壌改良を行なう場合にも、測定位置と関連付けられているので、容易に作業を行なうことができる。

【0027】特に、請求項 8 に記載の実施態様は、位置情報と測定データとから、土壌の特性マップを自動作成することができる。

【0028】

【発明の実施の形態】

（第 1 の実施形態）図 4 は本発明の一実施形態による土壌の光学特性測定装置 21 の構成を示す概略図である。この光学特性測定装置 21 は、光源 22、集光レンズ 23、光積分球 24、分光装置 25、光検出器 26 およびデータ処理装置 27 から構成されている。光源 22 は、白色光を土壌面 3 へ照射するものであって、ハロゲンランプ等からなる。光源 22 は、集光レンズ（単レンズ）23 を保持する鏡筒 28 の外周部に環状に配置されており、光源 22 の上面側及び外周側は反射板 29 により覆われている。なお、図示していないが、集光レンズ 23 の鏡筒 28 と光積分球 24 の間は、外乱光が入らないよう適宜手段により遮光されている。

【0029】光源 22 から出射された白色光（測定光）は土壌面 3 を照射する。この土壌面 3 は鋤 2 によって土壌を掻き取って露出させた新しい土壌面であつて、光源 22 及び集光レンズ 23 とほぼ一定の距離にある。ここで、光源 22 からの白色光を土壌面 3 に照射するようにしているので、土壌面 3 の照射強度を大きくできる。

【0030】光積分球 24 は、略球殻状をしていて下面には受光窓 30 が設けられている。光積分球 24 の内部には、光捕捉部となる空洞が設けられており、その内壁面は反射率がほぼ 100% の光拡散面（または、鏡面）となっている。この光積分球 24 の一部には、内部の光を分光装置 25 へ導くための透孔 31 が開口されている。

【0031】ここで、集光レンズ 23 及び光積分球 24 の位置関係は、鋤 2 によって露出させられた新しい土壌面 3 の像を集光レンズ 23 によって光積分球 24 の受光窓 30 に結像させるようにしている。すなわち、集光レンズ 23 の焦点距離を  $f$ 、土壌面 3 と集光レンズ 23 の距離を  $a$ 、集光レンズ 23 と受光窓 30 の距離を  $b$  とすれば、

$$(1/a) + (1/b) = (1/f)$$

の関係をほぼ満たすようにしている。

【0032】よつて、土壌面 3 と光積分球 24 との距離（ $a+b$ ）が長くても、 $a > b$  の関係を満たすように土壌面 3 と集光レンズ 23 の間の距離を充分に取つてあれば、図 4 から分かるように、土壌面 3 の広い面積で散

乱反射された白色光が光積分球 24 の受光窓 30 に集められる。光積分球 24 内に入った散乱反射光は、光積分球 24 の内部で吸収されることなく拡散反射を繰り返した後、透孔 31 から分光装置 25 へ導かれる。従って、光積分球 24 が土壌面 3 から大きな距離離れていても、土壌面 3 の（受光窓 30 の面積に比べて）広い面積で散乱反射された白色光が分光装置 25、ひいては光検出器 26 へ導かれ、高い測定感度を得ることができる。

【0033】本発明の土壌の光学特性測定装置 21 にあっては、こうして土壌面 3 と光積分球 24 ひいては光検出器 26 との距離を長くできるので、圃場での移動によって土壌面 3 と光検出器 26 との距離が変動しても土壌の光学的特性に及ぼす影響が少なくなり、測定精度が向上し、測定ばらつきも低減する。

【0034】また、集光レンズ 23 によって土壌面 3 の像を光積分球 24 の受光窓 30 に結像させているから、土壌面 3 で不規則かつ不均一に様々な方向へ反射された散乱反射光も受光窓 30 から光積分球 24 内へ集められ、光積分球 24 内部で平均化され、各方向で均一化された散乱反射光が透孔 31 から分光装置 25 へ送り出される。

【0035】土壌の性質（成分）が同じでも、土壌の表面の傾きや凹凸、土壌粒子の大きさ等が異なると、その分布により土壌面 3 から散乱反射される光の強度は検出する方向によりばらつきが生じる。しかし、本発明の光学特性測定装置 21 のように、土壌面 3 で散乱反射された測定光を分光装置 25 もしくは光検出器 26 で直接受光するのでなく、土壌面 3 で散乱反射され大きな立体角で放射された広い範囲の散乱反射光を光積分球 24 内に捕捉することによって平均化して分光装置 25 もしくは光検出器 26 で受光すれば、土壌の形状や構造、土質、粒子の大きさ等によらず土壌本来の光学的特性を測定することができ、測定データの信頼性を向上させることができる。

【0036】分光装置 25 は、光積分球 24 の透孔 31 から導かれた散乱反射光のうち特定波長の光を選択的に取り出し、その選択波長を所定の最短波長から最長波長まで一定速度でスキャンするものである。このような分光装置 25 としては、例えば従来例（図 2）で述べたような、波長選択フィルタ（干渉フィルタ）8 を備えたフィルタディスク 9 とスリット板 7 からなるものを用いることができる。

【0037】あるいは、図 5 に示すように、白色光を色分散させる回折格子 32 とスリット板 33 によって分光装置 25 を構成し、回折格子 32 又はスリット板 33 を移動させることによって分光装置 25 から出射される測定光の波長を連続的に変化させるようにしたものでもよい。

【0038】光検出器 26 としては、InGaAs、PbS、PbSe などの半導体受光素子やシリコンフォト

ダイオードなどを用いることができる。

【0039】こうして光検出器 26 で分光された散乱反射光が受光されると、光検出器 26 からデータ処理装置 27 へ受光信号が送られる。一方、データ処理装置 27 は、光検出器 26 を経由して分光装置 25 から測定光の波長を示す信号も受信している。測定光が土壌面 3 で反射されるとき、土壌の成分によって特定波長の光の吸収が起きるから、土壌の成分に応じて特有の光スペクトル（吸収スペクトル）を示す。分光装置 25 によって分光により取り出す波長を連続的に変化させながら、光検出器 26 で受光している光強度を検出すれば、散乱反射光の光スペクトルが得られるから、これをデータ処理装置 27 で解析することにより当該土壌の成分を分析することができる。

【0040】（第 2 の実施形態）図 6 は本発明の別な実施形態による土壌の光学特性測定装置 34 の一部破断した断面図である。この実施形態にあっては、集光レンズ 23 に外乱光が入って測定精度が低下するのを防止するため、反射板 29 から延出するようにして土壌面 3 の近くまで遮光カバー 35 を垂下している。また、光源 22 及び集光レンズ 23 の下方には参照板 36 が設けられており、参照板 36 は一端を遮光カバー 35 に枢着し、参照板 36 を立てて遮光カバー 35 の下面を開き、参照板 36 を倒して遮光カバー 35 の下面を閉じるようにしている。参照板 36 としては、アルミナなどのセラミック板などを用いることができ、その両面は反射率がほぼ 100% となっている。

【0041】この実施形態によれば、参照板 36 を倒して遮光カバー 35 の下面を閉じ、参照板 36 に白色光を照射して参照板 36 の光スペクトルをモニターすることによって、光学系の不安定性（例えば、光検出器 26 の感度変化や光源強度の揺らぎ等）による光学特性の変動を検出し、測定データの補正に使用することができる。なお、参照板 36 を立てて遮光カバー 35 の下面を開くことにより、土壌面 3 を測定できる。

【0042】また、遮光カバー 35 の、立てた参照板 36 と対向する箇所には、高圧エア噴射ノズル 37 を設けてあり、参照板 36 が開かれたとき、高圧エア噴射ノズル 37 から高圧空気を参照板 36 に吹き付けることにより参照板 36 に付着した土や泥などを清掃除去できるようにしている。なお、清掃する面は、白色光を照射する参照板 36 の上面側である。

【0043】この実施形態では、分光装置 25 としては反射型回折格子 38 を用いており、光検出器 26 としてはダイオードアレイ 39 を用いている。このような構成によれば、ダイオードアレイ 39 の各ダイオード素子で各波長を受光できるので、分光装置の波長をスキャンするための構造が不要となり、所定の光スペクトルを同時に測定でき、光の利用効率が良好となる。

【0044】（第 3 の実施形態）図 7 は本発明のさらに

別な実施形態による土壤の光学特性測定装置40の構成を示す概略図である。この光学特性測定装置40においては、集光手段として、凸面鏡41と孔あき凹面鏡42からなる屈折反射鏡43を用いている。このような構成によれば、土壤面3から光積分球24までの実際の距離に比べて土壤面3から光積分球24までの光学的距離を長くすることができ、光学特性測定装置40をコンパクト化できる。

【0045】また、光積分球24と分光装置25とを直接結することなく、光ファイバ44（もしくは光ファイバ束）を用いて光学的に結合しているため、分光装置25等の配置の自由度が増し、光学特性測定装置40をコンパクト化できる。

【0046】（第4の実施形態）図8は本発明のさらに別な実施形態による土壤の光学特性測定装置45の構成を示す概略図である。この光学特性測定装置45においては、集光レンズ23としてフレネルレンズ（回折レンズ）を用いている。また、光積分球24に代えてテーパ形状の光導波路46を用いており、端面の寸法の大きな側（光入射側端面）を集光レンズ23側に向け、端面の寸法の小さな側（光出射側端面）に分光装置25を配置している。

【0047】図8では、円錐台状をした筒体の内周面が鏡面となった光導波路46を示しているが、屈折率の大きな透明樹脂によって円錐台状に形成した光導波路46を用いてもよい。

【0048】この実施形態にあっても、集光レンズ23によって土壤面3の像が光導波路46の入射側端面に結像されるようにしてあり、広い面積の土壤面3で散乱反射した白色光が光導波路46に集められ、また各散乱方向の反射光も光導波路46に集められ、光導波路46に入った散乱反射光は光導波路46内を反射しながら分光装置25に入射する。

【0049】従って、土壤面3の凹凸などによらず、平均化された散乱反射光を分光器へ導くことができ、測定精度を安定化できる。

【0050】（第5の実施形態）図9（a）は本発明のさらに別な実施形態による土壤の光学特性測定装置の光源22を示す概略図、図9（b）は分光装置（波長分離装置）25及び光検出器26の構成を示す図である。これは光源光として白色光を用いない実施形態である。図9（a）に示すように、異なる発光波長を有する複数個例えば3個の発光ダイオード（LED）や半導体レーザー素子（LD）等の発光素子47a、47b、47cを1組みにして鏡筒28の周囲に配置して光源22を構成している。従って、この実施形態では、光源22からは、3つの波長 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ の光が土壤面3に照射される。

【0051】一方、分光装置25は、図9（b）に示すように、光積分球24から入射した散乱反射光をコリメ

ートするコリメート鏡48と、波長 $\lambda 1$ の光のみを透過させるダイクロイックミラー49、波長 $\lambda 3$ の光のみを透過させるダイクロイックミラー50、波長 $\lambda 1$ の光のみを透過させるバンドパスフィルタ51、波長 $\lambda 2$ の光のみを透過させるバンドパスフィルタ52、波長 $\lambda 3$ の光のみを透過させるバンドパスフィルタ53からなっており、波長 $\lambda 1$ の光を受光するための光検出器26aはバンドパスフィルタ51の透過側に配置され、波長 $\lambda 2$ の光を受光するための光検出器26bはバンドパスフィルタ52の透過側に配置され、波長 $\lambda 3$ の光を受光するための光検出器26cはバンドパスフィルタ53の透過側に配置されている。

【0052】（第6の実施形態）図10は本発明のさらに別な実施形態による土壤の光学特性測定装置54の受光側の構成を示す概略図である。この実施形態は、高精度の測定を目的とするものであつて、分光装置25としては、音響光学波長チューニング素子（Acoust-Optic Tunable Filter；以下、AOTFという）55を用いている。

【0053】AOTF55とは、白色光から単色光を分離し、電氣的に波長をスキャンするバンドパスフィルタであつて、可動部分を持たない。AOTF55は、音響光学結晶〔例えば、二酸化テルル（ $\text{TeO}_2$ ）結晶の音響波と光の進行方向が交差するもの〕56と音響波ドライバー57からなり、図11に示すように、結晶56の対向する辺にトランスジューサ（Acoustic Transducer）58とアブソーバ（Acoustic Absorber）59が貼り付けられており、音響波ドライバー57からトランスジューサ58にRF周波数の電気信号が印加されると、トランスジューサ58からアブソーバ59へと結晶56中を音響波が通過し、音響波が通過するとき、結晶56中に生じる歪がグレーティングのような働きをする。このAOTF55に白色光が照射されていると、単色光だけが透過し、しかも、この透過波長はRF周波数によって制御することができる。この透過波長の半値幅は、波長にもよるが1nmのオーダーまで狭くすることができ、透過率も高く最高98%まで可能である。ただし、透過光は0次回折光と $\pm 1$ 次回折光とに分離するので、図11に示すように、0次回折光と $-1$ 次回折光（又は、 $+1$ 次回折光）は光検出器26に達しないよう遮蔽板60によりカットする。

【0054】こうしてAOTF55からなる分光装置25を透過した単色光が光検出器26に照射され、照射波長は音響波ドライバー57によって最短波長から最長波長まで（例えば、400nm～2500nm）スキャンされる。分光装置25としてAOTF55を用いれば、可動部分がなく、電氣的に波長を制御できるから、波長スキャン速度を高速化することができる。また、光検出器26には、InGaAs素子のような応答性のよい受光素子を用いている。

【0055】一方、データ処理装置27は、音響波ドレイバー57からの信号によって照射波長を検知するとともに、光検出器26から受光信号を受信している。データ処理装置27が、受光信号から光スペクトルを求める方式としては、フーリエ変換型分光法を用いるのが好ましく、特に、インタフェログラム(interferogram)を用いる方法が望ましい。ここで、インタフェログラムとは、光線束干渉計の光路差を変えると、光路差 $x$ の関数として測定記録した干渉光強度の変化 $F(x)$ のことをいい、インタフェログラム $F(x)$ をフーリエ逆変換することにより光スペクトルが求められる。これらのインタフェログラムやフーリエ変換型分光法などは、光スペクトルを求めるための常法であるから、詳しい説明は省略する。

【0056】また、この光学特性測定装置54は、光源22の時間的変動を補正するための参照板36を備えており、つぎのような順序で光吸収スペクトルを求める。まず、参照板36を降ろして遮光カバー35の下面を閉じ、その状態で測定光の照射波長をスキャンして参照板36の拡散反射強度スペクトル $R(\lambda)$ を測定する。ついで、参照板36を上げて遮光カバー35の下面を開き、再度測定光の照射波長をスキャンして土壌の拡散反射強度スペクトル $S(\lambda)$ を測定する。そして、  

$$\text{Abs}(\lambda) = \log [R(\lambda) / S(\lambda)]$$
 から土壌の光吸収スペクトルを求める。

【0057】この実施形態の光学特性測定装置54では、①分光装置25として、電気的に高速高精度の波長スキャンが可能なAOTF55を用いること、②参照板36を用いて光源22の揺らぎ等を補正すること、③インタフェログラムにより光スペクトルを求めること、などによって高精度の土壌成分分析を可能にしている。

【0058】(第7の実施形態)図12は本発明のさらに別な実施形態による土壌の光学特性測定装置61の構成を示す概略図である。この光学特性測定装置61は、測定位置検出装置62を備えている。測定位置検出装置62としては、人工衛星を利用した測位システム(GPS; Global Positioning System)、ジャイロセンサ等を用いて移動方向や移動量を監視することによって位置を検出する方式のものなどを用いることができる。測定位置検出装置62によって検出された位置情報はマップ作成部へ送られる。マップ作成部63では、データ処理装置27から得た土壌成分の情報と測定位置検出装置6\*

\*2から得た測定位置情報を関連付けて蓄積し、測定地域全体における土壌成分マップを自動作成する。作成された土壌マップは、記録媒体に保存され、あるいはディスプレイに表示され、あるいはプリンタ等から出力される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】従来の土壌成分分析装置の構成を示す概略図である。

【図2】同上のフィルタディスクを示す平面図である。

【図3】データ処理装置における処理手順を示すフロー図である。

【図4】本発明の一実施形態による土壌の光学特性測定装置の構成を示す概略図である。

【図5】同上の光学特性測定装置に用いられている分光装置の原理図である。

【図6】本発明の別な実施形態による土壌の光学特性測定装置を示す一部破断した概略断面図である。

【図7】本発明のさらに別な実施形態による土壌の光学特性測定装置を示す一部破断した概略断面図である。

【図8】本発明のさらに別な実施形態による土壌の光学特性測定装置を示す一部破断した概略断面図である。

【図9】本発明のさらに別な実施形態による土壌の光学特性測定装置を説明する図であって、(a)は光源部分を示し、(b)は分光装置及び光検出器を示す。

【図10】本発明のさらに別な実施形態による土壌の光学特性測定装置を示す概略断面図である。

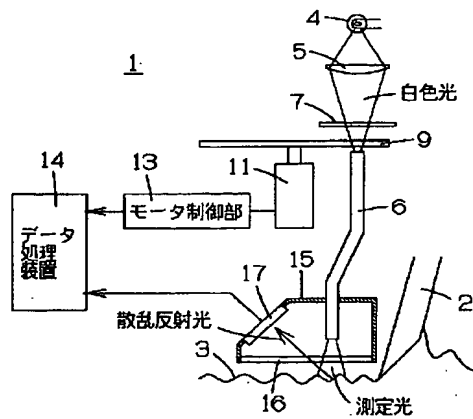
【図11】音響光学波長チューニング素子の概略を示す説明図である。

【図12】本発明のさらに別な実施形態による土壌の光学特性測定装置を示す概略断面図である。

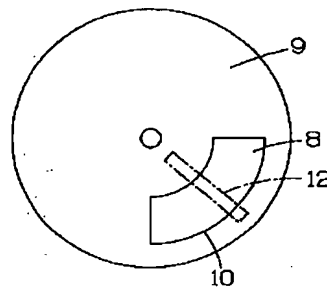
#### 【符号の説明】

- 3 土壌面
- 22 光源
- 24 光積分球
- 25 分光装置
- 26 光検出器
- 27 データ処理装置
- 35 遮光カバー
- 36 参照板
- 47a, 47b, 47c 発光素子
- 62 測定位置検出装置
- 63 マップ作成部

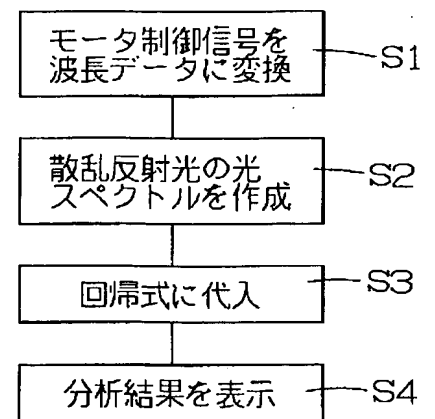
【図1】



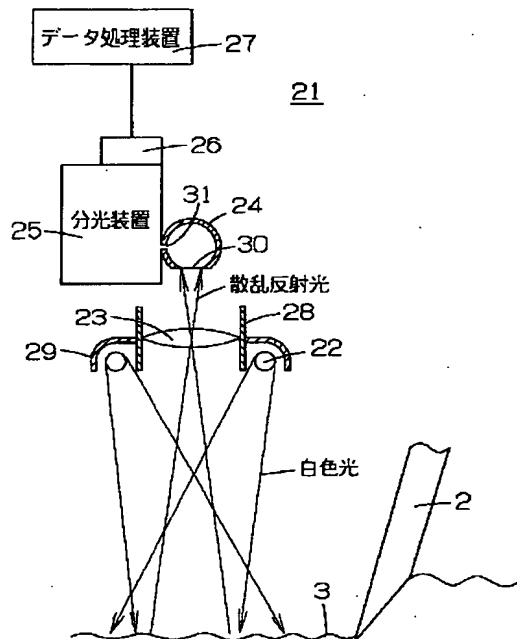
【図2】



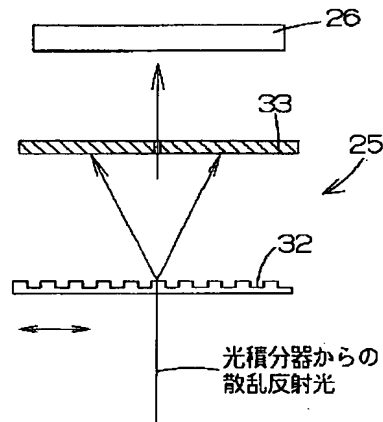
【図3】



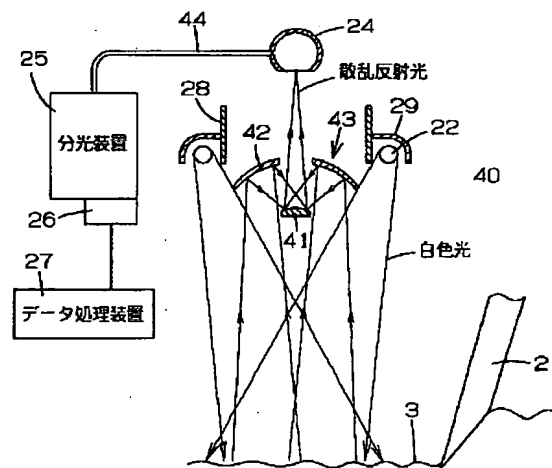
【図4】



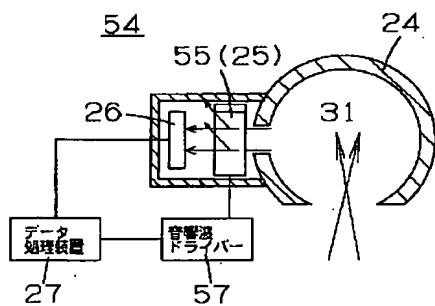
【図5】



【図7】

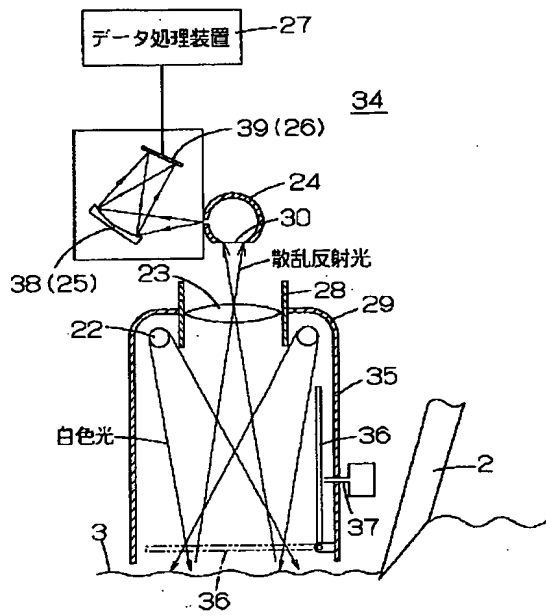


【図10】

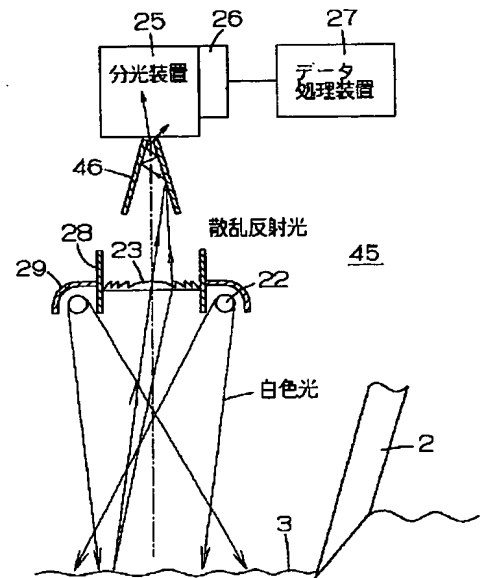




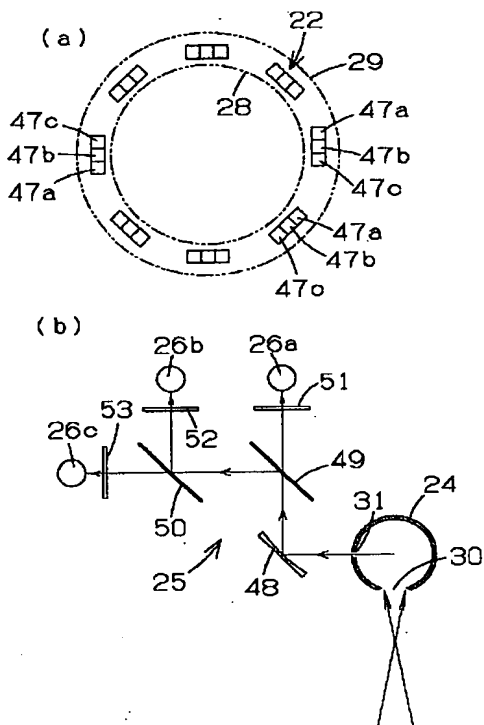
【図6】



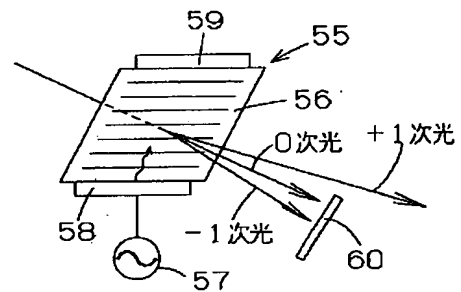
【図8】



【図9】



【図11】



【図 1 2】

